

**Detection of smallest quantities and flows of fluids by continuous droplet size determination, useful in a medicinal drip unit, employs capacitative measurement to control oscillator frequency**

Veröffentlichungsnr. (Sek.) DE10162055  
Veröffentlichungsdatum : 2003-06-26  
Erfinder : HENNING BERND (DE); PRANGE STEFAN (DE); AUGÉ JOERG (DE); DIERKS KARSTEN (DE)  
Anmelder : INST AUTOMATION UND KOMMUNIKAT (DE)  
Veröffentlichungsnummer : ☐ DE10162055  
Aktenzeichen:  
(EPIDOS-INPADOC-normiert) DE20011062055 20011217  
Prioritätsaktenzeichen:  
(EPIDOS-INPADOC-normiert) DE20011062055 20011217  
Klassifikationssymbol (IPC) : G01F1/56; G01N11/00; G01N13/02; G01N27/22  
Klassifikationssymbol (EC) : G01N13/02, A61M5/168M4, G01F1/56, G01F22/00, G01F23/26B  
Korrespondierende Patentschriften

---

**Bibliographische Daten**

---

Determination of smallest quantities and flows of fluids, employs a capacitative measurement unit. Determination of smallest quantities and flows of fluids, employs a capacitative measurement unit. Its conductive, hollow-cylindrical electrode (3) surrounds the droplet (2). A second electrode is a capillary (1) axi-symmetrically above the cylinder. The assembly determines the frequency of an oscillator circuit (4). The droplet, growing at the capillary, varies the capacity and hence the frequency. An analysis circuit (5) immediately determines the droplet size or volume.

---

Daten aus der esp@cenet Datenbank - - I2





①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 101 62 055 A 1**

⑤ Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**G 01 F 1/56**  
G 01 N 11/00  
G 01 N 13/02  
G 01 N 27/22

⑲ Aktenzeichen: 101 62 055.1  
⑳ Anmeldetag: 17. 12. 2001  
㉑ Offenlegungstag: 26. 6. 2003

DE 101 62 055 A 1

⑦1 Anmelder:  
Institut für Automation und Kommunikation eV  
Magdeburg, 39179 Barleben, DE

⑦2 Erfinder:  
Auge, Jörg, Dr.-Ing., 39326 Wolmirstedt, DE; Dierks,  
Karsten, Dipl.-Ing., 38486 Klötze, DE; Henning,  
Bernd, Prof. Dr., 39326 Colbitz, DE; Prange, Stefan,  
Dipl.-Ing., 39108 Magdeburg, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Vorrichtung zur Bestimmung des Volumens, der Oberflächenspannung und der Viskosität von Flüssigkeitstropfen

DE 101 62 055 A 1

## Beschreibung

## Stand der Technik

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Bestimmung kleinster Flüssigkeitsmengen und zur Kalibrierung von Durchflussmesseinrichtungen für die Erfassung kleinster Flüssigkeitsmengen.

[0002] Die Erfassung kleinster Flüssigkeitsmengen, wie sie z. B. in der Infusionstechnik benötigt wird, ist messtechnisch sehr diffizil. Flüssigkeitsströme von 1 ml/h und weniger lassen sich im allgemeinen nur noch durch die Bestimmung der Tropfengröße bzw. des Tropfenvolumens messtechnisch erfassen.

[0003] Aus JP 3 165 219 ist eine Vorrichtung zum Zählen von Tropfen bekannt. Hierbei verursacht der herabfallende Flüssigkeitstropfen in einer Kondensatoranordnung eine Änderung des elektrischen Feldes. Diese Messeinrichtung gestattet aber nur die Erfassung der Tropfenanzahl und ist nicht zur Erfassung der Tropfengröße bzw. des Tropfenvolumens eines einzelnen Flüssigkeitstropfens geeignet.

[0004] In den Patentschriften JP 5 149 769 und US 5 588 963 sind jeweils Vorrichtungen beschrieben, welche eine optische Auswertung zur Tropfengrößenbestimmung nutzen.

[0005] Nachteilig ist hierbei der vergleichsweise hohe technische Aufwand für gleichbleibende Beleuchtungsverhältnisse sowie für die Bildverarbeitungsalgorithmen. Darüber hinaus nimmt die Volumenauflösbarkeit mit wachsendem Tropfenvolumen ab, da das Tropfenvolumen proportional zur dritten Potenz des Tropfendurchmessers, die i. d. R. ausgewertete zweidimensionale Tropfenprojektion dagegen proportional zum Quadrat des Tropfendurchmessers ansteigt.

[0006] Auch Lageänderungen der Messeinrichtung während der Messung können das Ergebnis negativ beeinflussen.

[0007] In der Patentschrift DE 196 35 348 wird eine Vorrichtung beschrieben, bei der dem zu erfassenden Flüssigkeitstropfen eine elektrische Ladung aufgeprägt wird. Der herabfallende Tropfen gibt dann die Ladung beim Auftreffen an eine Auffangelektrode ab. Die elektrische Ladung wird mit Hilfe einer Auswerteschaltung erfasst. Auf der Grundlage einer Kalibrierung und unter Berücksichtigung verschiedenster Einflussfaktoren erfolgt so die Bestimmung des Tropfenvolumens. Nachteil dieser Anordnung ist, dass das Tropfenvolumen nicht während des Tropfenbildungsprozesses bestimmt werden kann, woraus eine erhebliche Verzögerung der Messung bzw. eine Einschränkung des Messbereiches resultiert.

## Wesen der Erfindung

[0008] Der vorliegend beschriebenen Vorrichtung liegt erfindungsgemäß die Aufgabe zugrunde, das Tropfenvolumen kontinuierlich während des Tropfenbildungsprozesses mit hoher Messempfindlichkeit und geringem Aufwand zu bestimmen.

[0009] Die erfindungsgemäße Vorrichtung (Fig. 1) basiert auf einer Kondensatoranordnung, welche den sich an einer Kapillaröffnung ausbildenden Flüssigkeitstropfen (2) teilweise oder vollständig, aber berührungslos einschließt.

[0010] Die eine Elektrode der Kondensatoranordnung wird durch die Kapillare (1) gebildet, welche aus einem elektrisch leitfähigen Material besteht oder die elektrisch leitfähige Flüssigkeit im Inneren der Kapillaren selbst bildet diese Elektrode. Eine zweite zylindrische Elektrode (3), im folgenden als Hohlzylinder bezeichnet, schließt sowohl die

Kapillare als auch den sich bildenden Flüssigkeitstropfen (2) bis zu seiner maximalen Größe teilweise oder vollständig, aber berührungslos ein. Die Kapillare wird dabei vorzugsweise axialsymmetrisch, d. h. in der Mitte des Hohlzylinders angeordnet. Hierbei wird die Tatsache ausgenutzt, dass sich das elektrische Feld im Inneren der Kondensatoranordnung in Abhängigkeit von der Tropfengröße sowie den komplexen dielektrischen Eigenschaften der Flüssigkeit verändert. Die Kondensatoranordnung ist wiederum frequenzbestimmender Teil eines Oszillators (4), der mit einer Auswerteschaltung (5) verbunden ist.

[0011] Durch Kalibrierung bzw. Berücksichtigung von stofflichen Eigenschaften der zu erfassenden Flüssigkeit lässt sich direkt und kontinuierlich mit Hilfe der Oszillatorfrequenz das Tropfenvolumen und damit die Flüssigkeitsmenge bestimmen.

[0012] Die Einsteck- bzw. Eindringtiefe der Kapillaren in den Hohlzylinder (3) lässt sich hierbei vorteilhafterweise zur Einstellung einer Grundkapazität nutzen, um die sichere Funktion der Oszillatorschaltung (stabile Oszillation) auch bei einem luftgefüllten Volumen zu gewährleisten (obere Frequenzreferenz).

[0013] Ein sich vergrößernder Flüssigkeitstropfen (2) führt zu einer Erhöhung der Kapazität (siehe Fig. 4) der sonst luftgefüllten Kondensatoranordnung und somit zur Verminderung der Oszillatorfrequenz. Aus der Änderung der Oszillatorfrequenz lässt sich noch während des Tropfenbildungsprozesses das Flüssigkeitsvolumen und unter Berücksichtigung der Zeit auch der Durchfluss ermitteln.

[0014] Vorteilhafterweise ist die kapazitive Messanordnung Bestandteil einer LC-Oszillatorschaltung (4), deren Arbeitsfrequenz im MHz-Bereich liegt und die auf Grund der hohen Empfindlichkeit eine geringe Messunsicherheit der Tropfenvolumenbestimmung gewährleistet. Alternativ können aber auch RC- oder modifizierte, kapazitätssensitive Quarzoszillatorschaltungen eingesetzt werden.

[0015] Zur Berücksichtigung der dielektrischen Eigenschaften der Flüssigkeit (2) ist entweder eine Kalibrierung oder die Erweiterung der Messeinrichtung mittels einer zweiten kapazitiven Messanordnung (9) vorzunehmen. Beispielsweise könnte, wie in Fig. 2 dargestellt, eine zweite kapazitive Messeinrichtung (9) elektrisch isoliert, unmittelbar zwischen oder vor der Kapillaren eingesetzt werden. Diese zweite Messeinrichtung (9) dient dabei der simultanen Bestimmung der dielektrischen Eigenschaften der Flüssigkeit und eines Korrekturfaktors K, der eine Abbildung der Meßgröße Frequenz auf das Tropfenvolumen gestattet.

[0016] Hierzu wird die Kapazität der flüssigkeitsgefüllten Anordnung aus der Frequenz der Oszillatorschaltung durch die Vorverarbeitung (15) unter Berücksichtigung der Temperatur ermittelt und nachfolgend als Korrekturfaktor K für die Empfindlichkeit des Tropfensensors in der Auswerteschaltung 5 verwendet.

[0017] Um mit der erfindungsgemäßen Messeinrichtung einen möglichst großen Durchflusssraten-Bereich abdecken und auch bei größeren Volumenströmen messen zu können, bei denen keine definierte Tropfenbildung mehr erfolgt, empfiehlt sich die Ergänzung der Anordnung mit einem Tropfensammelbehälter (10) (siehe Fig. 3). Wird der Tropfensammelbehälter (10) mit einem kontinuierlich den Füllstand erfassenden Sensor ausgerüstet, ist die Berechnung des Volumenstroms aus dem Signal des Füllstandssensors unter Berücksichtigung der Zeit mit Hilfe der Auswerteschaltung möglich. Der Füllstand (11) könnte beispielsweise wiederum mit Hilfe einer kapazitiven Messeinrichtungen, gebildet durch die beiden Elektroden (12) und (13) erfasst werden. Für längere Messzeiträume bei höheren Durchflusssraten ist es jedoch erforderlich, den Tropfensammelbehälter

mit einem Ablaufventil auszurüsten, das periodisch geöffnet werden muß, um ein Entleeren des Tropfensammelbehälters zu ermöglichen.

[0018] Die Messeinrichtung kann ebenfalls zur tropfenweisen Erfassung kleiner Flüssigkeitsmengen bzw. geringer Durchflüsse eingesetzt werden. Dabei wird die Oszillatorschaltung so eingestellt, dass die ordnungsgemäße Funktion bzw. Schwingung des Oszillators bei einer definierten Tropfengröße einsetzt und erst nach dem Herabfallen des Flüssigkeitstropfens wiederum aussetzt. Die Auswerteschaltung würde das Ein- und Aussetzen der Oszillatorschwingung in ein binäres Ausgangssignal umwandeln. Prinzipiell ist auch eine umgekehrte Zuordnung der Oszillatorbetriebszustände sowie die Festlegung eines Schwellwertes denkbar.

[0019] Durch einfache Modifikation oder Weiterbildung der Messeinrichtung wird vorzugsweise bei sehr kleinen Flüssigkeitsvolumen auch die Bestimmung physikalischer Flüssigkeitseigenschaften, wie Oberflächenspannung und Viskosität ermöglicht.

[0020] So kann die vorgeschlagene Messeinrichtung ebenfalls als Tensiometer zur kontinuierlichen Erfassung der Oberflächenspannung von Flüssigkeiten eingesetzt werden. Hierbei nutzt man die Tatsache, dass die Oberflächenspannung  $\sigma$  der Flüssigkeit bei bekanntem Kapillardurchmesser  $r$ , der wiederum mit dem Tropfenabrisradius  $r_{ab}$  korreliert, konstanter Erdbeschleunigung  $g$  und bekannter Dichte  $\rho$  der Flüssigkeit proportional dem Tropfenvolumen  $V$  ist (Gleichung 1).

$$\sigma = \frac{\rho \cdot g}{2\pi \cdot r_{ab}} \cdot V \quad (1)$$

[0021] Durch Erweiterung der Messeinrichtung mit einer Vorrichtung zur Erzeugung einer definierten Druckdifferenz über das Volumen der Kapillaren lässt sich prinzipiell auch die Viskosität von Flüssigkeiten bestimmen. Beispielsweise könnte die dynamische Viskosität  $\eta$  der Flüssigkeit nach der Hagen-Poiseuilleschen Gleichung (2) bei definierter Druckbeaufschlagung  $\Delta p$  sowie bekanntem Radius  $r$  und bekannter Länge  $l$  der Kapillaren unmittelbar aus der zeitlichen Änderung des Tropfenvolumens bestimmt werden.

$$\eta = \frac{\pi \cdot \Delta p \cdot r^4}{8 \cdot l} \cdot \frac{\Delta t}{\Delta V} \quad (2)$$

#### Ökonomische Relevanz der Erfindung

[0022] Die messtechnische Erfassung besonders kleiner Flüssigkeitsvolumina ist außerordentlich schwierig. Besondere Forderungen werden einerseits an die Messgenauigkeit, an den Messbereichsumfang sowie die geometrischen Abmessungen der Messeinrichtung gestellt. Die Erfassung von Volumina, wie sie in der Medizintechnik, z. B. bei der Infusion von Wirkstoffen, notwendig ist, lässt sich nahezu ausnahmslos durch Beobachtung eines sich bildenden Tropfens realisieren. Um Verdunstung als auch Kontaminationen der Flüssigkeit zu unterbinden, befindet sich die Flüssigkeit in kleinen und hermetisch bzw. allseitig abgeschlossenen Gefäßen, welche die Geometrie und Ausführung der Messeinrichtung wesentlich einschränken. Bekannte Messverfahren basieren auf einer optischen Auswertung des sich bildenden Tropfens. Diese Messeinrichtungen gestalten sich technisch jedoch vergleichsweise aufwendig.

[0023] Die hier vorgeschlagene Messeinrichtung nutzt die durch den Flüssigkeitstropfen verursachte Veränderung des

elektrischen Feldes innerhalb einer Kondensatoranordnung. Auf Grund des großen messtechnischen Effektes während der Tropfenbildung lässt sich das Tropfenvolumen direkt und kontinuierlich während des Tropfenbildungsprozesses bestimmen. Insbesondere bei der Produktkontrolle von Infusionspumpen ermöglicht diese Messeinrichtung eine wesentlich schnellere und verbesserte Kalibrierung der Infusionspumpen.

[0024] Darüber hinaus ließen sich die Infusionspumpen auch mit der vorgeschlagenen Messeinrichtung ausrüsten und somit in ihrer Funktion permanent überwachen.

[0025] Die Vorteile dieser Messeinrichtung liegen einerseits in der variablen Anwendbarkeit zur Bestimmung von Volumen, Stoffmengen oder auch stofflichen Eigenschaften von Flüssigkeiten und andererseits in der Einfachheit der technischen Realisierung begründet.

[0026] Die Messeinrichtung ist insbesondere für die Erfassung und stofflichen Charakterisierung kleinster Flüssigkeitsmengen prädestiniert.

#### Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Erfassung kleinster Flüssigkeitsmengen und Durchflüsse durch eine kontinuierliche Bestimmung der Flüssigkeitstropfengröße, **dadurch gekennzeichnet**,

dass sich der zu erfassende Flüssigkeitstropfen innerhalb einer kapazitiven Messanordnung befindet, welche von einer ersten, vorzugsweise als elektrisch leitender Hohlzylinder (3) ausgebildeten und den Tropfen umschließenden Elektrode und einer sich vorzugsweise oberhalb des Hohlzylinders (axialsymmetrisch) befindlichen Kapillare (1) als zweite Elektrode gebildet wird,

die kapazitive Messanordnung dabei als frequenzbestimmendes Element einer Oszillatorschaltung (4) dient,

wobei der sich bildende Flüssigkeitstropfen (2) in dieser Kondensatoranordnung eine Kapazitätsänderung bewirkt, welche mittels Oszillatorschaltung (4) in eine Frequenzänderung umgewandelt wird, aus der mit Hilfe einer Auswerteschaltung (5) unmittelbar die Tropfengröße bzw. das Tropfenvolumen bestimmt wird.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zur Erweiterung des Messbereiches mit Hilfe der Auswerteschaltung zusätzlich die Zahl der abgefallenen Tropfen erfasst und für die Volumen- bzw. Durchflussmessung ausgewertet wird.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1 bis 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Durchmesser der den Tropfen umschließenden Elektrode (3) vorzugsweise geringfügig größer im Vergleich zum maximalen Tropfendurchmesser derart gewählt ist, dass dieser bzw. dessen Höhe den Tropfen (2) teilweise bis vollständig, aber berührungslos einschließt.

4. Vorrichtung nach Anspruch 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die den Tropfen umschließende Elektrode (3) einen n-eckigen ( $n \geq 3$ ) oder ovalen Querschnitt aufweist, welcher über die Höhe der Elektrode einen variablen Querschnitt aufweist und vorzugsweise im oberen Bereich der Tropfenform angepaßt ist.

5. Vorrichtung nach Anspruch 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die den Tropfen umschließende Elektrode (3) keine vollständig geschlossene Mantelfläche aufweist und vorzugsweise als Lochraster- oder Gitternetzstruktur ausgebildet ist.

6. Vorrichtung nach Anspruch 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die den Tropfen umschließende Elektrode (3) eine mehrteilige Anordnung zum Beispiel aus einem oder mehreren Zylindersegmenten oder Stäben bestehend, darstellt, deren Teile elektrisch leitend verbunden sind und damit gleiches elektrisches Potential besitzen.

7. Vorrichtung nach Anspruch 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Eintauchtiefe der Kapillaren (1) in der Hohlzylinderelektrode (3) zur Einstellung der Grundkapazität der Messanordnung genutzt und so gewählt wird, dass die sichere Funktion der Oszillatorschaltung auch im luftgefüllten Volumen gewährleistet ist.

8. Vorrichtung nach Anspruch 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Kapillare (1) auswechselbar ist und der Durchmesser der Kapillare dem zu messenden Durchfluss bzw. Tropfenvolumen sowie den physikalischen Eigenschaften angepasst ist.

9. Vorrichtung nach Anspruch 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Rohrelektrode und/oder die Kapillare mit einer elektrisch isolierenden Schicht, vorzugsweise aus Teflon, beschichtet ist.

10. Vorrichtung nach Anspruch 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die kapazitive Messanordnung mit einer LC-Oszillatorschaltung (4) bzw. einer RC- oder Quarzoszillatorschaltung verbunden ist, deren Arbeitsfrequenz über 1 MHz ist.

11. Vorrichtung nach Anspruch 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass die dreidimensional ausgebildete und das Medium umschließende Elektrode mit Massepotential verbunden ist.

12. Vorrichtung nach Anspruch 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass zur Berücksichtigung der dielektrischen Flüssigkeitseigenschaften die kapazitive Messanordnung um mindestens eine weitere kapazitive Messanordnung (9) und eine weitere Oszillatorschaltung (8) ergänzt und mit der Auswerteschaltung (5) verbunden wird, welche die Oszillatorfrequenz in einem definierten und mit der Flüssigkeit vollständig ausgefüllten Volumen unter Berücksichtigung der Temperatur ermittelt und diese im folgenden als Korrekturgröße für die Tropfenvolumenbestimmung der kapazitiven Messanordnung (1) und (3) genutzt wird.

13. Vorrichtung nach Anspruch 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Anordnung insbesondere für die Erfassung auch größerer Volumenströme um einen Tropfensammelbehälter (10) erweitert wird, der mit einer messtechnischen Einrichtung zur Erfassung des Füllstandes (11) ausgerüstet ist, deren Signal in der Auswerteschaltung unter Verwendung der Zeit in einen Volumenstrom umgesetzt wird.

14. Vorrichtung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass der Füllstandssensor ebenfalls als kapazitive Anordnung (12 und 13) ausgeführt ist und als frequenzbestimmendes Glied einer Oszillatorschaltung verwendet wird.

15. Vorrichtung nach Anspruch 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass die hochfrequenten Oszillatorfrequenzen mit Hilfe einer konstanten bzw. definierten Referenzfrequenz gemischt werden, um die Auswertung der Oszillatorfrequenzänderungen in den leichter auswertbaren niederfrequenten Bereich zu verlagern.

16. Vorrichtung nach Anspruch 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass zur Vermeidung störender Einflüsse, wie Verdunstung und Luftbewegung, auf das Messergebnis das Volumen der Messanordnung von der Umgebung abgeschlossen ist.

17. Vorrichtung nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Kapselung der Messeinrichtung zur Vermeidung störender Umgebungseinflüsse aus elektrisch leitendem Material gefertigt ist.

18. Vorrichtung nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, dass die aus elektrisch leitfähigem Material gefertigte Kapselung elektrisch auf Massepotential gelegt wird.

19. Vorrichtung zur Erfassung der Oberflächenspannung von Flüssigkeiten durch eine kontinuierliche Bestimmung der Flüssigkeitstropfengröße, dadurch gekennzeichnet,

dass sich der zu erfassende Flüssigkeitstropfen innerhalb einer kapazitiven Messanordnung befindet, welche von einer ersten, vorzugsweise als elektrisch leitender Hohlzylinder (3) ausgebildeten und den Tropfen umschließenden Elektrode und einer sich vorzugsweise oberhalb des Hohlzylinders (axialsymmetrisch) befindlichen Kapillare (1) als zweite Elektrode gebildet wird,

die kapazitive Messanordnung dabei als frequenzbestimmendes Element einer Oszillatorschaltung (4) dient,

wobei der sich bildende Flüssigkeitstropfen (2) in dieser Kondensatoranordnung eine Kapazitätsänderung bewirkt, welche proportional zur maximalen Tropfengröße bzw. dem maximalen Tropfenvolumen ist und unter Berücksichtigung des bekannten Kapillardurchmessers, konstanter Erdbeschleunigung und bekannter Dichte der Flüssigkeit mittels Oszillatorschaltung (4) in eine Frequenzänderung umgewandelt wird, aus der mit Hilfe einer Auswerteschaltung (5) unmittelbar die Oberflächenspannung bestimmt wird.

20. Vorrichtung zur Erfassung der Viskosität von Flüssigkeiten durch eine kontinuierliche Bestimmung der Flüssigkeitstropfengröße, dadurch gekennzeichnet, dass sich der zu erfassende Flüssigkeitstropfen innerhalb einer kapazitiven Messanordnung befindet, welche von einer ersten, vorzugsweise als elektrisch leitender Hohlzylinder (3) ausgebildeten und einer sich vorzugsweise oberhalb des Hohlzylinders (axialsymmetrisch) befindlichen Kapillare (1) als zweite Elektrode gebildet wird, die kapazitive Messanordnung dabei als frequenzbestimmendes Element einer Oszillatorschaltung (4) dient,

wobei der sich bildende Flüssigkeitstropfen (2) in dieser Kondensatoranordnung eine Kapazitätsänderung bewirkt, welche proportional zur Tropfengröße bzw. zum Tropfenvolumen und bei definierter Druckbeaufschlagung sowie unter Berücksichtigung des bekannten Radius und der Länge der Kapillaren ist und mittels Oszillatorschaltung (4) in eine Frequenzänderung umgewandelt wird und aus der zeitabhängigen Frequenzänderung mit Hilfe einer Auswerteschaltung (5) unmittelbar die Viskosität bestimmt wird.

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen.

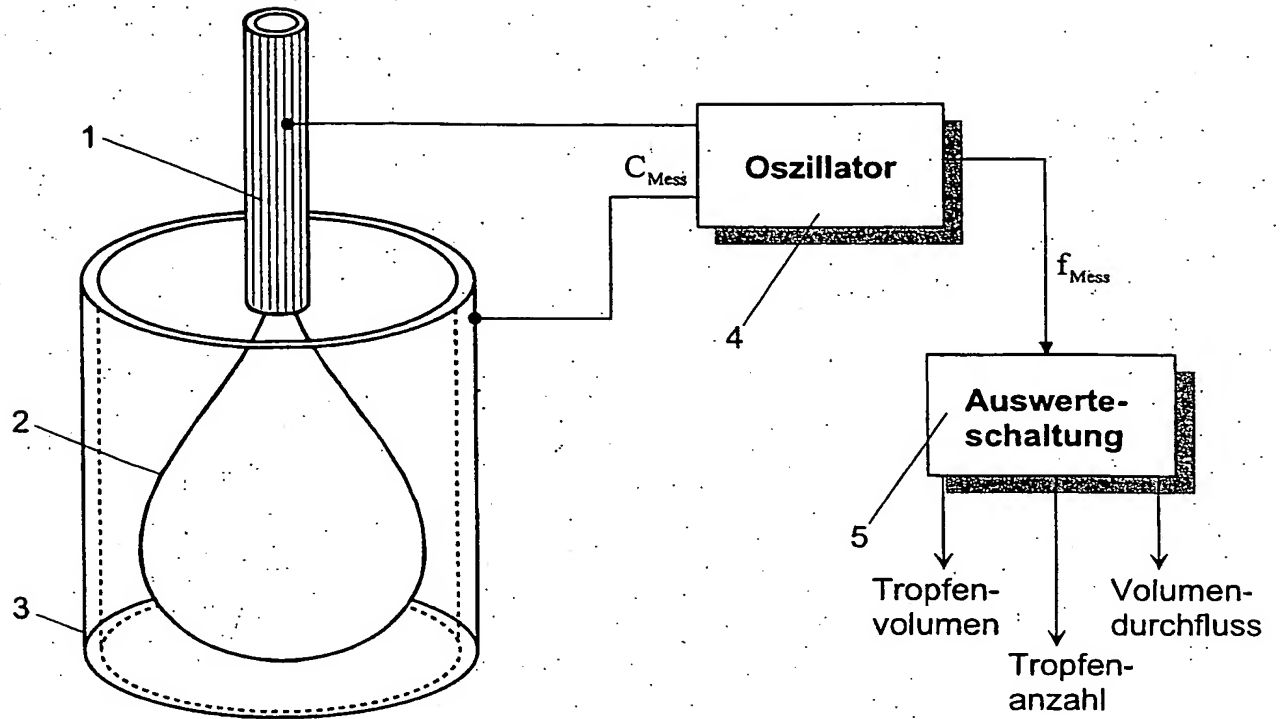


Fig. 1

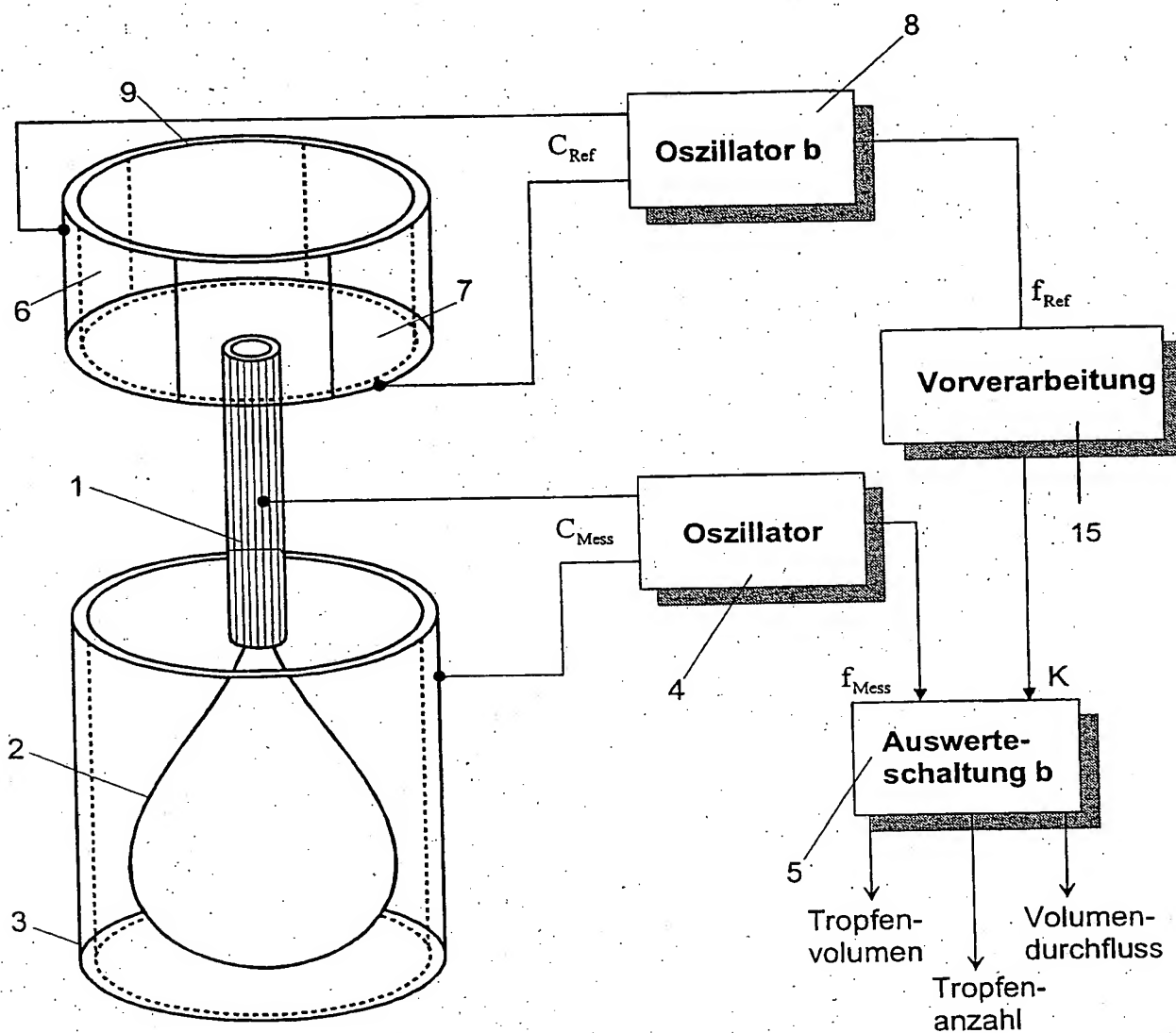


Fig. 2



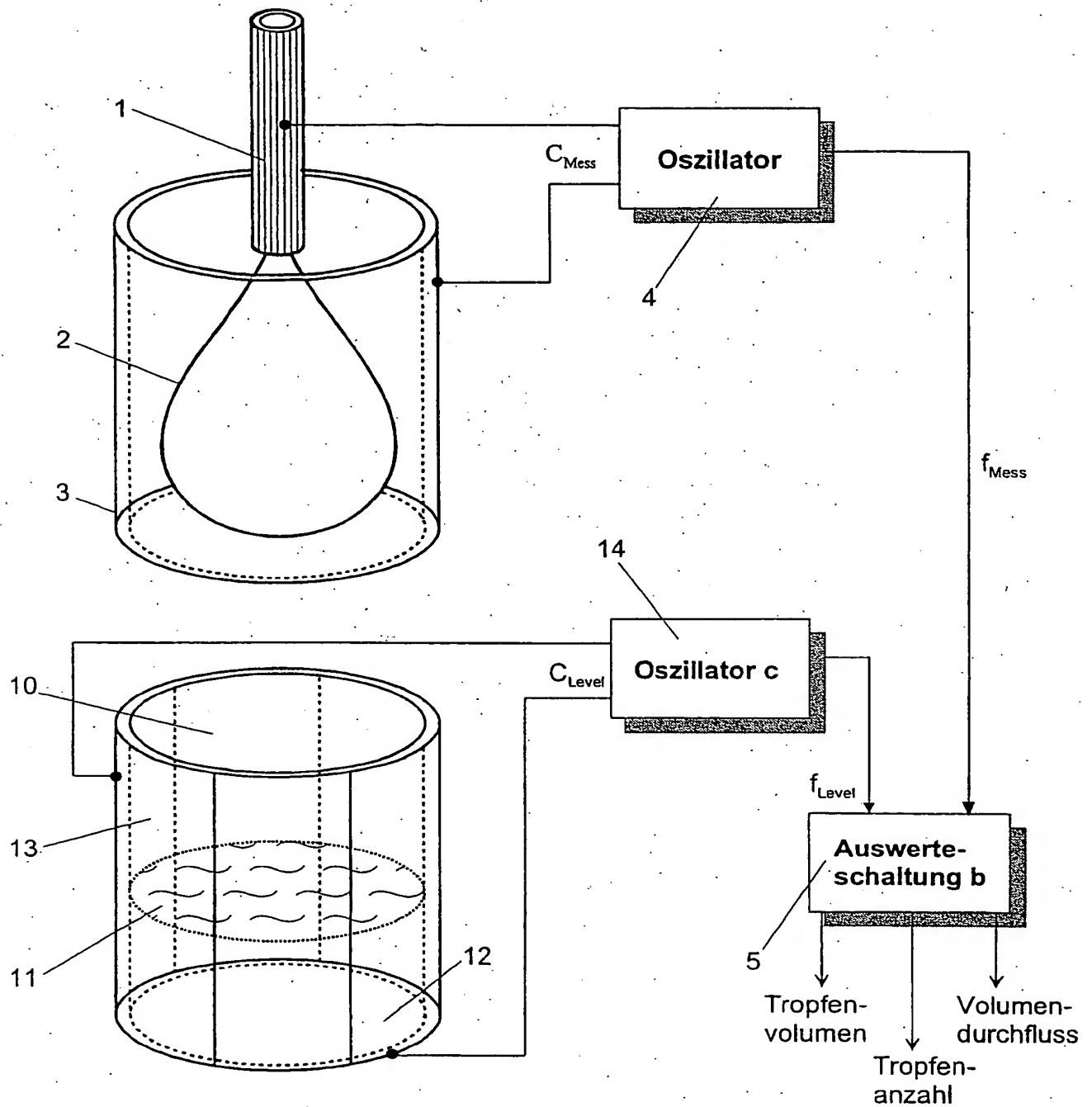


Fig. 3



Fig. 4